

В статье рассматривается методика, которая позволяет пересмотреть таблицы яркостей и освещенностей для наружного освещения дорог в сторону увеличения нормируемых значений яркостей и освещенностей, а также включить скорость в число параметров, от которых зависит наружное освещение

УДК: 628.98

Л.В. Бражникова,
И.А. Шмаров, к.т.н.

Научно-исследовательский институт
строительной физики Российской академии
архитектурных и строительных наук

ОСВЕЩЕНИЕ ДОРОГ И СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТА

В существующей отечественной и зарубежной практике наружного освещения освещенность(яркость) дорожного покрытия на улицах и дорогах устанавливается только в зависимости от наибольшей интенсивности движения транспорта (ед/ч) и не связано с его скоростью движения транспорта.

В тоже время расстояние, на котором водитель должен увидеть объект для принятия решения о необходимых действиях, возрастает с увеличением скорости движения транспорта. Исследования, проведенные техническим комитетом Международной комиссии по освещению (МКО) ТС 4-36 «Расчет видимости в дорожном движении» и ТС4-44 «Управление и обслуживание дорожного движения» [4], подтвердили, что скорость движения транспорта является важным параметром и должна быть включена в стратегию управления наружным освещением.

В основе нормирования наружного освещения лежит видимость и пороговые контрасты тест-объектов (объектов различения), зависящие не только от освещенности объекта и фона, на котором он рассматривается, но и от размера объекта и его контраста с фоном. Стандартные тест-объекты, принимаемые в основу нормирования наружного освещения в разных странах различны.

В стандарте США IESNA/ANSI RP-08-00 в качестве тест-объекта в дорожном освещении принята квадратная пластина размером 0,18х0,18 м установленная вертикально на уровне полотна дороги на расстоянии 83м от наблюдателя. Пластина имеет серый цвет с коэффициентом отражения 0,2 [3].

В российских нормах [5] для определения освещенности дорожного покрытия в качестве тест-объекта принимался квадрат размером 1,0 м х 1,0 м, наблюдавшийся с «критического расстояния» [2, 3]. Контраст тест-объекта с фоном варьировался в диапазоне от 0,3 до 0,9 до значения «критического контраста» в целях обеспечения вероятности обнаружения тест-объекта $p = 0,99$. Довольно большой размер тест-объекта и его высокий контраст с фоном позволяет декларировать высокую вероятность его обнаружения (различения) $p = 0,99$, хотя освещенность и яркость дорожных покрытий при этом остается низкой.

В настоящее время скорости и интенсивность движения автотранспорта возросли, однако это не нашло отражения в изменении норм освещенности (яркости) дорожного покрытия.

Объектами различения, как видно из фото на рис. 1, которые водитель должен уверенно видеть, чтобы не выехать на полосу встречного движения являются участки разделительной полосы, разделяющей полосы встречного движения, а для безопасного перестроения в соседнюю полосу - элементы дорожной разметки. При движении за 1 секунду в поле зрения водителя появляются новые участки разделительной полосы с продольным размером от 5,5 м при скорости движения $v=20$ км/ч до 33,3 м при скорости движения $v=120$ км/ч. Разметка на разделительной полосе информирует водителя о возможности или

невозможности обгона впереди идущего автотранспортного средства с выездом на встречную полосу движения, торможении перед левым.

Минимальный поперечный размер объекта различения – участка разделительной полосы и элементов разметки составляет 0,1 м, то есть в десять раз меньший, чем размер тест-объекта, принимавшегося для определения освещенности и яркости дорожного покрытия в настоящее время.



Рис.1. – Вид дорожной разметки из кабины водителя.

В настоящей работе именно видимость и пороговый контраст участков разделительной полосы, появляющихся в поле зрения водителя за 1 секунду при движении, предлагается положить в основу выбора зависимости норм освещенности улиц и дорог от скорости движения транспорта.

Реальные элементы дорожной разметки, представленные на рис. 2, имеют размер 0,1x1,0 м, либо 0,1x0,5 м по ГОСТ Р 51256-99 [11].

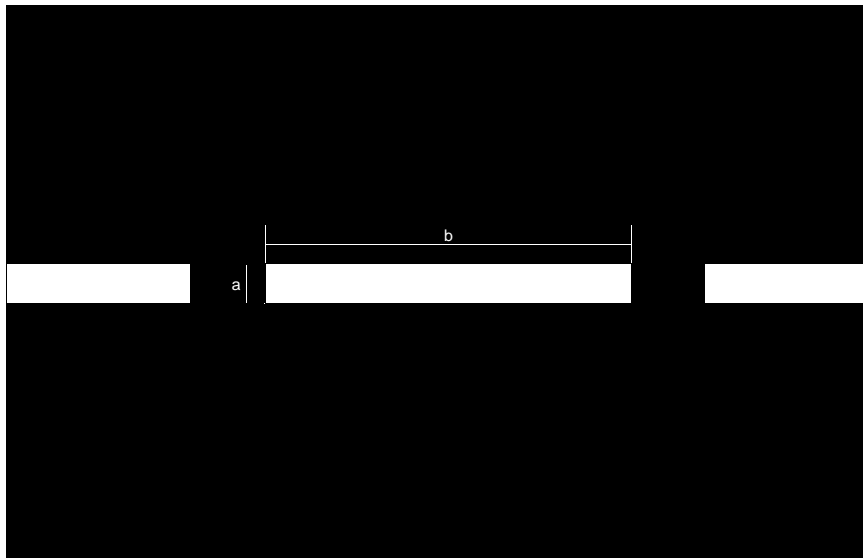


Рис. 2. – Основной объект различения при дорожном движении – элемент дорожной разметки или участок разделительной полосы.

Разметка выполнена белой краской и поэтому имеет положительный контраст, то есть яркость разметки всегда выше яркости фона- яркости дорожного полотна - на котором она рассматривается. Данные объекты водителю автотранспорта необходимо различать как минимум с расстояния безопасного торможения – $l_{p\delta m}$

В международной практике нормирования наружного освещения определено и понятие «расстояние безопасного торможения», $l_{p\delta m}$ – путь, пройденный транспортным средством за время от момента, когда водитель заметил препятствие до момента полной остановки транспортного средства:

$$\ell_{p\delta m} = \left(\frac{v}{10} \right)^2 + 3 \left(\frac{v}{10} \right), \quad (1)$$

где v – скорость движения автотранспорта, км/час.

Для безопасного движения водителю необходимо уверенно видеть вновь появляющиеся участки разделительной полосы с расстояния безопасного торможения.

Глаза водителя легкового автомобиля расположены в среднем на высоте 1,5 метра над дорожным полотном. При этих условиях участки разделительная полоса и элементы дорожной разметки на расстоянии безопасного торможения видны под углом $\beta = 0,5^{\circ} \div 8,5^{\circ}$ и плоскости дороги. Данное обстоятельство существенно уменьшает продольные размеры дорожной разметки, поскольку зрение воспринимает размер проекции разметки на плоскости перпендикулярной линии зрения, что учтено в табл. 1 при определении продольного углового размера.

При скоростях больших 80 км/ч и продольный угловой размер элемента разметки менее 1 угловой минуты, что меньше остроты зрения яркости $L \leq 2$ кд/м² [12]. В этих условиях разделительная полоса на расстояниях безопасного торможения выглядит сплошной линией.

Решающее значение в безопасности дорожного движения имеет видимость различаемого объекта и связанный с ней пороговый контраст:

$$v = k / k_n, \quad (2)$$

где k - контраст объекта различения с фоном, k_n - пороговый контраст различаемого объекта.

Яркость или освещенность дорожного покрытия, обеспечивающие безопасное движение в зависимости от скорости автотранспорта могут быть получены из условий видимости и вероятности обнаружения различаемых объектов.

В области физики зрения наиболее исследованы и представлены эмпирическими формулами зависимость порогового контраста от яркости фона для тест-объекта в форме круга. Дорожная разметка представляет собой протяженные объекты различения с положительным контрастом. Для того, чтобы от размеров протяженного объекта перейти к размерам круга, имеющего такой же пороговый контраст при данной яркости фона могут воспользоваться по методикой СНиП 23-05-95* [5]. Сущность методики иллюстрирует рис. 3, а результаты расчета приведены в табл.1.

Наиболее удобная форма зависимости порогового контраста равнояркого круга на равноярком фоне - зависимость порогового контраста $k_{n,p} = 0,5$ от углового размера α и яркости фона L_ϕ при положительной контрастной полярности ($L_o > L_\phi$) в виде произведения двух функций: одна из которых зависит от углового размера стандартного тест-объекта - α , а другая от яркости фона - L_ϕ на котором он расположен; была получена при обработке экспериментальных исследований Е. А. Никитиной [6].

$$k_{n,p} = f(\alpha) \cdot f(L_\phi) \cdot f(p), \quad (3)$$

где
$$f(L_\phi) = \frac{0,2}{1 + \lg L_\phi}. \quad (4)$$

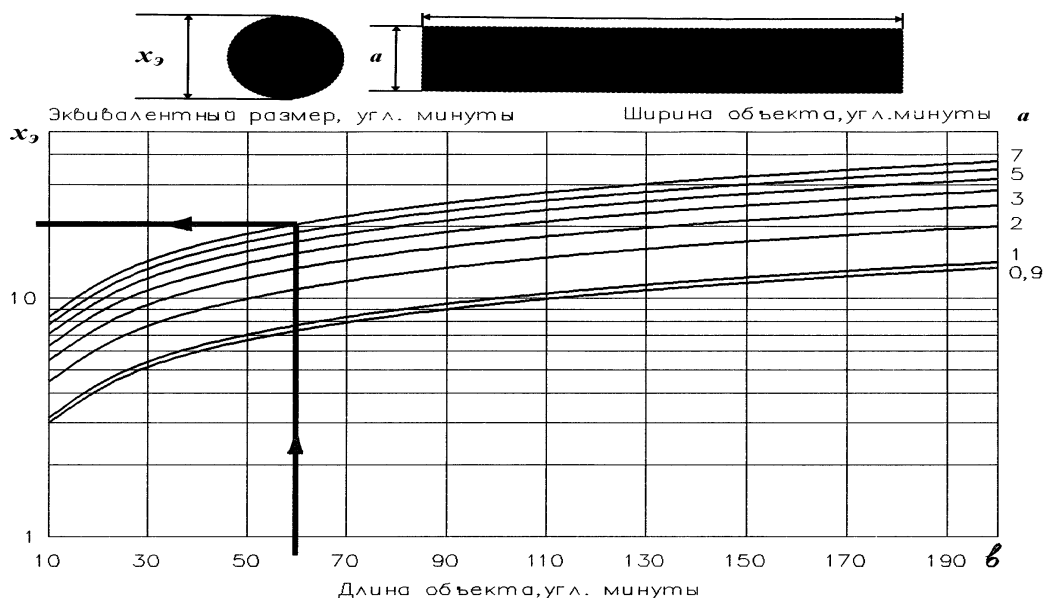


Рис. 3. – Учет протяженности различаемых объектов при нормировании освещенности (яркости).

$$k_{n,p=0,5} = f(\alpha) \cdot f(L_\phi) = f(L_\phi) \begin{cases} k_{n,p=0,5} / \alpha^2 & \alpha < 1' \\ (10^{1/0,9\alpha} - 1) & 1' \leq \alpha \leq 16', L_0 > L_\phi, \\ k_{n,p=0,5} \sqrt{16/\alpha} & \alpha > 16', \end{cases} \quad (5)$$

$$f(p) = 1 + \sigma_{\text{отн}} \cdot x_p \quad (6)$$

где $\sigma_{\text{отн}} = \sigma / k_{n,p=0,5}$ - постоянный коэффициент; x_p - аргумент нормальной функции распределения $\Phi^*(x) = p$ при параметрах $m = 0$ и $\sigma = 1$.

Представление порогового контраста различаемого объекта в виде произведения трех функций, первая из которых зависит от углового размера объекта, вторая от яркости фона (яркости адаптации) на котором он рассматривается, а третья зависит от вероятности различения объекта показывает, что пороговый контраст всегда зависит от трех параметров.

Решающим ограничением для освещенности (яркости) дорожного покрытия при искусственном освещении являются существующие технические возможности светотехнического оборудования (в основном световая отдача применяемых источников света), электрических сетей, а также и экономические возможности страны.

Действующими нормами СНиП 23-05-95* [5] определены освещенности (яркости) дорожного покрытия как безопасные условия освещения при скорости движения автотранспорта $v = 60$ км/ч. За последние 20 лет нормируемые значения освещенности (яркости) не изменились, однако разрешенные скорости движения автотранспорта возросли. Сегодня на Московской кольцевой автодороге разрешенная скорость движения при хороших погодных условиях достигает 100 км/ч.

Согласно многочисленным отечественным и зарубежным экспериментальным исследованиям, обзор которых приведен в [7], достаточная яркость дорожного покрытия при скорости движения автотранспорта 60 км/ч составляет 1,0 кд/м². Яркости (освещенности) дорожного покрытия могут выбираться из условия постоянства чувствительности порогового контраста к изменению яркости дорожного покрытия, то есть из условия постоянства первой производной зависимости порогового контраста от яркости фона [2, 3]:

$$k'_n(L_\phi) = \text{const} \quad (7)$$

Зависящие от углового размера и яркости фона пороговые контрасты позволяют рассчитать, как должны измениться яркости дорожных покрытий, чтобы изменение порогового контраста различаемых объектов при других скоростях движения автотранспорта было постоянным, то есть выполнялось условие (7).

Изменение скорости движения автотранспорта приводит к изменению углового размера различаемого объекта – элемента дорожной разметки, поскольку меняется расстояние безопасного торможения, $l_{\text{рбт}}$, с которого водитель должен заметить объект.

Если вероятностные характеристики порогового контраста постоянны, то условие равенства производных пороговых контрастов при скорости движения $v_1 = 60$ км/ч и соответствующей ей яркости дорожного покрытия $L_{\phi 1} = 1$ кд/м² и скорости v_2 при соответствующей ей яркости дорожного покрытия $L_{\phi 2}$ принимает вид:

$$\frac{1}{(1 + \lg L_{\phi 2})^2 L_{\phi 2}} (10^{1/0,9\alpha_2} - 1) = \frac{1}{(1 + \lg L_{\phi 1})^2 L_{\phi 1}} (10^{1/0,9\alpha_1} - 1) \quad (8)$$

Проводя преобразования, получаем:

$$(1 + \lg L_{\phi 2})^2 L_{\phi 2} = (1 + \lg L_{\phi 1})^2 L_{\phi 1} \frac{(10^{1/0,9\alpha_2} - 1)}{(10^{1/0,9\alpha_1} - 1)} \quad (9)$$

Поскольку значения α_1 , α_2 и $L_{\phi 2}$ известны, правая часть уравнения является константой c_0

$$(1 + \lg L_{\phi 2})^2 L_{\phi 2} - c_0 = 0 \quad (10)$$

где c_0 - значение, определяемое яркостью дорожного покрытия при допустимой скорости движения 60 км/ч, $L_{\phi 1} = 1$ кд/м² и угловыми размерами различаемой дорожной разметки.

$$c_0 = (1 + \lg L_{\phi 1})^2 L_{\phi 1} \frac{(10^{1/0,9\alpha_2} - 1)}{(10^{1/0,9\alpha_1} - 1)} \quad (11)$$

Уравнение (10) представляет собой трансцендентное уравнение и его решение может быть найдено численными методами, например методом касательных Ньютона [8].

Решение уравнения (11) позволяет получить значения яркостей дорожного покрытия $L_{\phi 2}$, необходимые для различения объекта с расстояния безопасного торможения – табл. 1.

Полученный диапазон яркостей дорожного покрытия при скорости 20- 120 км/ч лежит в пределах от 0,3- 2,0 кд/м², что выше, чем в действующем СНиП 23-05-95*, но соответствует диапазону яркостей дорожного покрытия, приведенных в рекомендациях Международной комиссии по освещению (МКО).

Разработанная методика позволила пересмотреть таблицы яркостей и освещенностей для наружного освещения дорог, изложенных в СНиП 23-05-95* в сторону увеличения нормируемых значений яркостей и освещенностей, а также включить скорость в число параметров, от которых зависит наружное освещение. Предложения по конкретным значениям норм наружного освещения приведены в табл. 2, которые рекомендуются для включения в регламент при переработке СНиП 23-05-95*

Таблица 1

Угловые характеристики участка дорожной разметки, появляющейся в поле зрения водителя за одну секунду движения и рекомендуемые яркости дорожного покрытия при разных скоростях движения автотранспорта

Скорость движения транспорта v , км/ч	Расстояние безопасного торможения $\ell_{р\text{бт}}$, м	Поперечный размер дорожной разметки a , м	Продольный размер участка дорожной разметки, появляющейся в поле зрения водителя за одну секунду движения транспорта b , м	Угловой поперечный размер дорожной разметки α_a , угловые минуты	Угловой продольный размер проекции участка дорожной разметки, появляющейся в поле зрения водителя за одну секунду движения транспорта α_b , угловые минуты	Эквивалентный угловой участка размер дорожной разметки, появляющейся в поле зрения водителя за одну секунду движения транспорта α_z , угловые минуты	$10^{1/0,9\alpha_z}-1$	Константа C_0 в уравнении (10)	Яркость дорожного покрытия, $L\phi_2$, кд/м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	10	0,1	5,55	34,4	181,3	104,0	0,0249	$8,65 \cdot 10^{-2}$	0,33
40	28	0,1	11,11	12,3	52,2	24,0	0,112	0,39	0,62
60	54	0,1	16,67	6,4	22,5	10,1	0,288	1,00	1,0*
80	88	0,1	22,22	3,9	11,8	6,7	0,382	1,33	1,16
90	108	0,1	25,0	3,2	8,97	6,5	0,592	2,06	1,49
100	130	0,1	27,77	2,6	7,1	5,5	0,839	3,10	1,90
120	180	0,1	33,33	1,9	4,47	3,5	1,077	3,74	2,12

* - рекомендуемое значение яркости дорожного покрытия при скорости движения автотранспорта $v_I=60$ км/ч, полученное на основе обобщенных экспериментальных исследований [7.]

Таблица 2

Действующие и предлагаемые нормы освещенности и яркости дорожного покрытия при наружном освещении улиц, дорог, площадей

Категория объекта по освещению	Улицы, дороги и площади	Максимально допустимая скорость движения транспорта, ¹⁾ км/ч	Наибольшая ин- тенсивность движения транс- порта в обоих нап-равлениях, ед/ч	Средняя яркость дорожного покрытия, кд/м ²		Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк	
				нормируемая по СНиП 23- 05-95*	рекомендуемая	нормируемая по СНиП 23- 05-95*	рекомендуемая
1	2	3		4		5	
А	Магистральные дороги	120 ²⁾	Св. 3000	–	2,1	–	40
		100	Св. 3000	1,6	1,9	20	30
		90	Менее 3000	1,2	1,5	20	30
		80	Менее 3000	0,8	1,2	15	20
Б	Магистральные улицы общегородского значения						
		90	Св. 3000	1,0	1,5	15	30
		80	Св 1000 до 3000	0,8	1,2	15	20
		60	От 500 до 1000	0,6	1,0	10	15
		40	Менее 500	0,4	0,6	10	10
В	Магистральные улицы районного значения						
		80	Св. 2000	0,4	1,2	6	20
		60	От 500 до 2000	0,3	1,0	4	15
		40	Менее 500	0,2	0,6	4	10
Г	Улицы и дороги местного значе- ния						
		60	500 и более	–	1,0	–	15
		40	Менее 500	–	0,6	–	10
		20	Менее 500	–	0,3	–	6
	*) в перспективе						

¹⁾ Данный столбец рекомендуется вставить в нормы дополнительно.

²⁾ Скорость движения транспорта ожидаемая в перспективе.

Литература

1. Справочная книга по светотехнике. Том II.-Основы светотехники и осветительные установки. – М.: Издательство АН СССР, 1958.- 454 с.
2. Справочная книга по светотехнике./ Под ред. Ю. Б. Айзенберга –2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1995.- 528 с.
3. Справочная книга по светотехнике./ Под ред. Ю. Б. Айзенберга – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006 – 972 с.
4. Басак Семиз, Ондер Гюлер, Сермин Онейгил. Определение критериев оценки качества дорожного освещения с помощью системы контроля видимости. – 6-ая Международная светотехническая конференция, Калининград, Светлогорск 19-22 сентября 2006 г: Тезисы докладов. Б. м. 2006 – 194 с.
5. СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение. – М: ГУП ЦПП, 2003.- 54 с.
6. Никитина Е.А., Мурашева М.А. Пороговый контраст равноярких диффузных дисков.– В. сб.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. – М.: Профиздат, 1971, вып. 74 с.
7. Адриан В. Основы освещения автодорог. Светотехника, 2004, № 5, с. 2-11.
8. Волков Е.А. Численные методы. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256 с.
9. Бражникова Л.В., Карачёв В.М. Освещение улиц городов. Новости светотехники. Аналитический обзор отечественной нормативной документации по наружному утилитарному освещению; Под ред. Ю.Б. Айзенберга. - М.: Дом Света, 2000. 36 с.
10. ХМСН 1.05-02 «Искусственное освещение. Наружное освещение селитебных территорий городов и населенных пунктов Ханты-Мансийского автономного округа». – Ханты-Мансийск, 2002.
11. ГОСТ Р 51256-99. Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Типы и основные параметры. Общие технические требования. – М.: 2000.
12. Луизов А.В. Глаз и свет.- Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1983. – 144 с.

ОСВІТЛЕННЯ ДОРІГ І ШВИДКІСТЬ РУХУ АВТОТРАНСПОРТУ

Л.В. Бражникова, І.А. Шмаров

У статті розглядається методика, що дозволяє переглянути таблиці яркостей та освітленостей для зовнішнього освітлення доріг убік збільшення нормованих значень яркостей й освітленостей, а також включити швидкість у число параметрів, від яких залежить зовнішнє освітлення.

ILLUMINATION OF THE ROADS AND VELOCITY OF THE MOVING THE MOTOR TRANSPORT

L.V. Brazhnikova, I.A. Shmarov

This article considers methods, which allows to revise the tables of brightness and luminosity for medicine to be taken externally of the illumination of the roads aside increase normed importances of brightness and luminosity, as well as include the velocity in number parameter, from which depends the medicine to be taken externally an illumination.